

## A Study on the Design and Economic Evaluation of HTS Power Platform with 23 kV Tri/axial HTS Power Cables for Urban Power Supply

李, 哲休

<https://doi.org/10.15017/4060194>

---

出版情報 : 九州大学, 2019, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :



氏 名 : Lee, Chulhyu

論 文 名 : A Study on the Design and Economic Evaluation of HTS Power Platform with 23 kV Tri-axial HTS Power Cables for Urban Power Supply  
(都市部電力供給用 23 kV 三相同軸 HTS ケーブルを用いた HTS プラットフォームの設計と経済的評価に関する研究)

区 分 : 甲

### 論 文 内 容 の 要 旨

現在、世界中で超伝導ケーブルの実用化に向けた研究開発が活発に進められている。既存のさまざまな電圧階級の送配電系統と連系するために、仕様が異なる超伝導ケーブルの試験も行われた。韓国電力では、このような開発状況を鑑み、高温超伝導ケーブルの実用化を目指して、1 km 以上離れた二ヶ所の 154 kV 変電所を 23 kV HTS ケーブルで連系する Shingal プロジェクトを実施し、この高評価を受け、世界初の商業運転に展開した。

超伝導ケーブルの長所は高電流密度送電であり、同サイズの配電用フィーダーより約 5~10 倍以上の電力を送電することができる。これにより、都心の変電所建設を省略したり、変電所の都市外郭への移転のみならず、技術的制約で解決が困難だった様々な状況を克服できるようになる。しかし、既存の三相一括型超伝導ケーブルはその高い価格により、広範囲の導入と新規投資が難しいという欠点があった。三相同軸型ケーブルはこの課題を解決し、さらに超伝導シールドを必要とせず、さらなる価格低減を可能とし、ドイツの Ampacity プロジェクトなどでその性能が立証された。しかしながら、冷却システムの制約により、1km 以上の系統に導入できないという限界を露呈した。

本研究では、この課題を解決するために、三相同軸ケーブル内に冷却パスを二つ設け、ケーブル外部循環経路を別途に確保する方式を提唱、採用した。また、都心の電力供給のための新しい電力系統構成として、23kV の超伝導同軸ケーブルを活用した HTS パワープラットフォームを提案し、伝統的な方式との経済効果を検討した。ここで HTS パワープラットフォームとは、負荷密度が高く、かつ、地価が高い都心に 154kV 変電所を建設する代わりに、敷地面積が非常に小さい 23kV 開閉所を 2~3 ヶ所建設し、23kV HTS ケーブルで都市外郭に配置した変電所と環状網で連携して安定的に電力を供給する方式を指す。ここでは、N-1 信頼度基準を考慮しながらも、23kV 開閉所の電力供給能力と、これを連系する 23kV 超伝導ケーブルの回線数および送電容量の間に経済的観点で適切な調和が求められる。特に、投資代案間の比較検討において、超伝導ケーブルの経済性だけでなく、現場の建設環境も反映されなければならない。建設環境には、地中建設方式、ステーション用敷地価格、送電線の経過地の制約など、経済性評価に影響を及ぼさるさまざまな要因が含まれる。これらを鑑みて、HTS パワープラットフォームの経済効果について、従来の伝統的方式と比較検討した。

本論文は、23kV 超電導ケーブルを活用した HTS パワープラットフォームのデザインおよび経済性評価に関する一連の研究をまとめたもので六章で構成される。第一章は序論で、研究背景、国内外の超電導ケーブルの開発状況および研究目的について記述している。第二章では、各種超電導ケーブルの比較とともに、液体窒素の外部循環経路を備えた三相同軸型超電導ケーブルの構成について説明している。第三章では、都心の電力供給のための新しい概念の HTS パワープラットフォームを提案し、経済性評価のために超電導ケーブルと冷却システムの価格算出手順を記述した。第四章では、最大 360MVA 負荷供給容量を持つ HTS パワープラットフォームの経済性について、多様な設備計画シナリオ別に比較評価した。特に、超電導ケーブルの容量別の総投資費の比較を通じて、HTS パワープラットフォームと最も適切に符合する超電導ケーブルの容量を定量的に検討した。第五章では、実際に電力系統に適用するための 60MVA 容量の HTS パワープラットフォームモデル事業の候補地の選定およびシステムの構成について記述した。第六章は総括で、今後の課題に対する意見も記した。

## Abstract

Research on the development of superconducting power cables for commercialization is underway worldwide. Many demonstrations of superconducting power cables connected to real power grids have been conducted with various designs depending on the voltage levels of the distribution and transmission lines. In Korea, the Korea Electric Power Corporation (KEPCO) has fully funded the Shingal Project, the first commercial project of high temperature superconducting (HTS) power cables to connect two substations with a 23 kV HTS cable over a distance of 1 km, and it has started operations successfully.

The advantage of superconducting cables, which have been rapidly developed in recent years, is their capability to transmit 5–10 times more capacity than those of feeders of the same size, making them an excellent means of avoiding building new substations and replacing transmission cables. Given these advantages, studies on how to utilize superconducting cables are required in high load density urban areas where installing new substations and transmission cables is hindered by mounting public opposition.

The author conducted a study to supply power to urban areas using 23 kV HTS cables and proposed a new power system model called the HTS power platform to prove the method's feasibility. This platform refers to the new configuration of an electric power grid composed of two to three 23 kV switching stations connected with each other by the 23 kV HTS cables in urban areas with high load densities and land costs. The size of the 23 kV switching stations is only 20%–30% of that of the conventional 154 kV substations.

However, the disadvantage of the conventional HTS cable (three phases in one cryostat; triad type) is that it is not easy to utilize further owing to its high investment cost. As an alternative,

the development of tri-axial HTS cables without using HTS shield wires, such as those used in the AMPACITY project in Germany, enables cost reductions, but a limitation of the cooling system keeps the HTS cables from exceeding a length of 1 km. Thus, technical improvements in tri-axial HTS cables are needed to configure the HTS power platform.

This study verifies that the cable distance can be increased to 3 km by improving the cooling configuration of tri-axial HTS cables from the conventional internal circulation to an external circulation channel for liquid nitrogen ( $\text{LN}_2$ ). Consequently, the urban power supply area of the HTS power platform can be expanded with considerable flexibility. In addition, the economic impacts of construction environments, such as land costs, underground structures, and HTS cables were verified by modeling them as mathematical factors. Furthermore, the optimal circuit number and capacity ratings of HTS cables are presented through the design algorithm development of the 23 kV HTS cable system, which is a key facility for the HTS power platform. This enabled a detailed verification for the installation of an HTS power platform in a real grid in consideration of the N-1 reliability criteria and resulted in an increased feasibility of the 23 kV tri-axial HTS cables.

This doctoral dissertation is among a series of studies developing new configurations for an HTS power platform using 23 kV HTS power cables, and it consists of six chapters. Chapter 1 presents the background, purpose, and outline of this paper. Chapter 2 describes the configuration of the 23 kV tri-axial HTS cable system with an external return path for  $\text{LN}_2$ . Chapter 3 introduces the new design of the HTS power platform for urban power supply. Furthermore, it explains the estimation process for the prices of tri-axial HTS cables and a cooling system. Chapter 4 describes the economic evaluation of the HTS power platform with a load supply capacity of up to 300 MVA in consideration of its construction environments, life cycle cost and benefit, and closed-loop or radial type configuration. In particular, a comparison of the total investment cost of the HTS power platforms is described to present an appropriate HTS cable rating selection that corresponds well to the HTS power platform. Chapter 5 describes the demonstration of the 23 kV 60 MVA closed-loop HTS power platform in an actual power grid. Finally, chapter 6 summarizes the results and discusses future issues.